

УДК 528.8(476)

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОВТОРНО ЗАБОЛОЧЕННЫХ УЧАСТКОВ
ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ
ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ СРЕДНЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

А.А. ЯНОВСКИЙ;
акад., д-р с.-х. наук, проф. Н.Н. БАМБАЛОВ
(Институт природопользования НАН Беларуси, Минск)

Рассматривается автоматизация тематического картографирования поверхности повторно заболоченных после выработки участков торфяных месторождений Беларуси по спутниковым снимкам с широкими спектральными каналами в видимом диапазоне и ближнем ИК-диапазоне с пространственным разрешением 10...15 м без непосредственного участия человека, с применимостью методики к торфяным месторождениям без использования наземных данных на примере VNIR каналов спектрорадиометра ASTER, причем предлагаемая методика не требует использования наземных данных и применима к различным торфяным месторождениям Беларуси. Показано, что при картографировании повторно заболоченных выработанных участков торфяных месторождений по указанным данным дистанционного зондирования в автоматическом режиме возможно выделение открытой воды, обнаженных торфяной и торфяно-минеральной, органоминеральной и постторфяной почв и растительного покрова с выделением из последнего в отдельный класс сомкнутой листовенной древесной растительности.

Введение. Большие площади выработанных торфяных месторождений Беларуси требуют повторного заболачивания, при этом мозаичность расположения образующихся после его проведения вариантов наземного покрова препятствует проведению их картографирования путем интерактивной обработки данных дистанционного зондирования, приводя к необходимости автоматизации картографирования.

Повторное заболачивание выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Беларуси к настоящему времени проведено только на относительно небольшой части от их общей площади (43 тыс. га из более 450 тыс. га, с учетом выработанных торфяных месторождений пойменного залегания, которые самостоятельно превратились в неглубокие водоемы после прекращения работы насосных станций). Суть повторного заболачивания заключается в подъеме уровня грунтовых вод до поверхности выработанного торфяного месторождения или выше нее с последующим зарастанием территории болотной растительностью. После осуществления мероприятий по повторному заболачиванию необходима количественная оценка полученных результатов, при этом наиболее информативным является картографирование поверхности повторно заболоченного участка. Проведение данного картографирования наземными методами является затратным по времени, трудоемким и дорогостоящим, а на труднодоступных участках – неприменимым. В связи с этим возрастает интерес к использованию для этого данных дистанционного зондирования. Необходимо отметить, что идентификация водно-болотной растительности – более трудная задача, чем идентификация суходольной растительности, поскольку травянистая растительность болот характеризуется высокой спектральной и пространственной изменчивостью вследствие крутых градиентов факторов окружающей среды, что приводит к коротким экотонам и резкому разделению элементов растительности. При этом спектры отражения различных растительных сообществ болот часто очень сходны и на них накладывается спектр отражения воды на поверхности торфа и/или спектр отражения торфа [1]. Болотная растительность повторно заболоченных участков, как правило, характеризуется существенно меньшим видовым разнообразием по сравнению с растительностью болот в естественном состоянии, что упрощает проведение картографирования. Однако картографирование повторно заболоченных участков выработанных торфяных месторождений усложняется по сравнению с картографированием ненарушенных болот вследствие того, что в результате повторного заболачивания выработанного торфяного месторождения формируется сложный комплекс из неглубоких водоемов, суходольных участков и участков, заросших болотной растительностью. Мозаичность расположения упомянутых вариантов наземного покрова препятствует картографированию результатов повторного заболачивания путем интерактивной классификации данных дистанционного зондирования, поэтому данную тематическую обработку следует автоматизировать.

В опубликованных материалах отсутствуют методики автоматизированного картографирования по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения с широкими спектральными каналами в видимом диапазоне и начальной области ближнего ИК-диапазона одновременно всей поверхности повторно заболоченных после выработки участков торфяных месторождений. Многие работы содержат отдельные элементы автоматизации, однако используемые в них методики требуют участия человека либо идентификации каждого из получаемых при кластеризации классов с конкретным типом поверхност-

ного покрова, т. е. данные методики не являются действительно автоматизированными, при этом сама идентификация требует для каждого торфяного месторождения наземные данные (эталонные участки), либо требуют обширных наземных измерений типов поверхности картографируемого торфяного месторождения для получения обучающей выборки, что также говорит об отсутствии автоматизации.

Основная часть. Новизна данной работы заключается, во-первых, в определении классов поверхностного покрова повторно заболоченных участков выработанных торфяных месторождений Беларуси, которые возможно одновременно определить по спутниковым снимкам с широкими спектральными каналами в видимом диапазоне и начальной области ближнего ИК-диапазона с пространственным разрешением 10...15 м без непосредственного участия человека при автоматизации всего процесса обработки спутниковых снимков, начиная от минимального уровня их обработки и до получения конечных карт, причем предлагаемая методика не требует использования наземных данных и применима к различным торфяным месторождениям Беларуси; во-вторых, в определении последовательности выделения картографируемых классов поверхности и выборе соответствующих способов его проведения. Выбор пространственного разрешения 10...15 м обусловлен 1) возможностью получения для исследования неподвергавшихся передискретизации снимков спектрорадиометра ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer*, пространственное разрешение VNIR – *Visible Near Infrared* – каналов которого равно 15 м в надире, и 2) целью показать перспективы использования для решения данной задачи снимков Белорусского космического аппарата (БКА), пространственное разрешение мультиспектральных каналов которого равно 10,5 м в надире. В настоящее время снимки БКА можно получить только без коэффициентов радиометрического пересчета, необходимых для проведения радиометрической калибровки, поэтому в данной работе они не используются.

Снимки спектрорадиометра ASTER уровня обработки L1A получены из Распределенного центра хранения данных по наземным процессам (Land Processes DAAC) Геологической службы США в рамках образовательного проекта. Их автоматизированная обработка от уровня L1A до тематических карт проведена с помощью разработанной нами программы (реализована на языке программирования Python с использованием расширения NumPy и оберток к библиотекам GDAL и OTB). Радиометрическая коррекция включала радиометрическую калибровку, коррекцию пропущенных строк и атмосферную коррекцию по модифицированному методу DOS (Dark Object Subtraction), автоматизация которой подробно описана в публикации [2]. Программа позволяет получать геопривязанные результаты в векторном виде, при этом масштаб каждой получаемой векторной карты зависит от точности геопривязки, количества и распределения по снимку используемых наземных контрольных точек, а также от используемой цифровой модели рельефа (при ее наличии), и в данной работе не рассчитывается.

Для разработки методики использован снимок ASTER Гричино-Старобинского торфяного месторождения с датой съемки 09.09.2009. Подспутниковые измерения проведены 19–20 сентября 2012 года.

Используемый в работе оптический прибор VNIR спектрорадиометра ASTER имеет 3 канала со спектральными характеристиками, представленными в таблице 1 [3].

Таблица 1

Спектральные характеристики оптического прибора VNIR спектрорадиометра ASTER

| Канал | Центральная длина волны, нм | Центральный момент, нм | Ширина канала по уровню 0,5 полосы пропускания фильтра, нм |
|-------|-----------------------------|------------------------|--|
| 1 | 556 | 556 | 90 |
| 2 | 659 | 661 | 60 |
| 3N | 807 | 807 | 100 |

Картографирование в автоматическом режиме по VNIR каналам ASTER отдельных классов поверхностного покрова повторно заболоченных выработанных торфяных месторождений в данной работе проводится путем комбинаций пороговой обработки VNIR каналов и рассчитанных по ним индексов. Работа классификатора начинается с выделения открытой воды. Ее выделение основано на присущей воде низкой отражательной способности в видимом и особенно в ближнем ИК-диапазоне длин волн, при этом, в отличие от спектрального коэффициента отражения растительности и почвы, значения спектрального коэффициента отражения воды в синей и зеленой областях спектра превосходят его значения в ближней ИК-области (рис. 1).

К классу «открытая вода» относятся пиксели, удовлетворяющие следующим требованиям:

$$\text{канал } 3N < 0,04 \text{ или } (NDWI > -0,1 \text{ и } NDVI < 0,1). \tag{1}$$

Использование пороговой обработки канала 3N основано на том, что в данной области спектра значение коэффициента отражения чистой воды существенно ниже, чем коэффициента отражения торфяной почвы (рис. 1), при этом из всех каналов прибора VNIR на данном канале минимальна вариация соответствующих воде значений пикселей относительно их среднего значения [8]. В то же время особенность спектра отражения воды, заключающаяся в том, что значение ее спектрального коэффициента отражения в зеленой области спектра превосходит значение в ближней ИК-области, используется в индексе NDWI (Normalized Difference Water Index [9]).

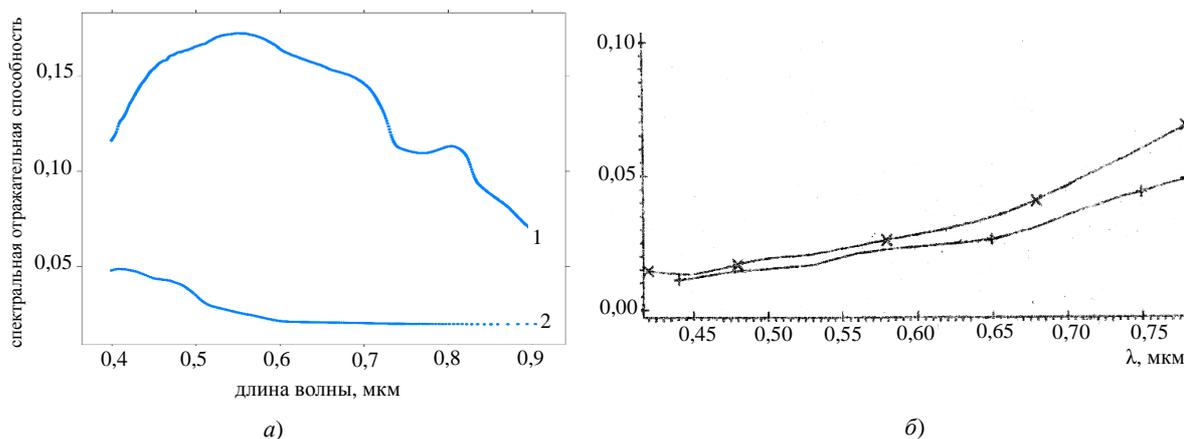


Рис. 1. Спектральная отражательная способность (а) воды (1 – мутная вода, 2 – чистая вода), торфяной почвы (б), измеренная в полевых условиях при влажности почвы 311,5 % (+), 206,5 % (x)

Примечание. Спектры воды взяты из библиотеки спектров USGS Digital Spectral Library [4], торфяной почвы – из работы [5]. Визуализация спектров USGS Digital Spectral Library проведена с помощью пакета Rcmdr [6] программной среды вычислений R [7].

Определение используемых в формуле (1) пороговых значений канала 3N и NDWI проведено с использованием программы [10] путем сопоставления результатов картографирования с наземными подспутниковыми измерениями, анализа заполненности получаемых участков открытой воды (отсутствия островов) и сопоставления результатов картографирования со снимками сверхвысокого пространственного разрешения в Google Earth. Стоит отметить, что полученные в данном исследовании пороговые значения NDWI (–0,1) и канала 3N (0,04) совпадают с таковыми соответственно в работах [11; 12], что подтверждает правильность их определения. Используемое в формуле (1) пороговое значение для индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index [13]) взято из работы [12].

Следует также отметить случаи, когда формула (1) может приводить к ошибкам картографирования: мелководье с высоким значением спектрального коэффициента отражения дна; наличие значительного количества расположенной близко к поверхности и погруженной в воду растительности (попадает в класс «прочая растительность»); вызванное водорослями или цианобактериями «цветение» воды; наличие водной растительности (попадает в класс «прочая растительность»); обусловленная взвешенными минеральными частицами высокая мутность воды.

Выделение растительности является классической задачей обработки данных дистанционного зондирования. Ее выделение основано на использовании присущего зеленой растительности очень низкого значения коэффициента отражения в красной области спектра вследствие поглощения фотосинтетически активного излучения растительными пигментами и весьма высокого значения коэффициента отражения в ближней ИК-области вследствие рассеяния почти всего падающего излучения на границах раздела воздух – вода в листьях и между листьями в пологе. Из использования для выделения растительности указанных свойств следует, что источником вариации при данном выделении является изменение содержания фотосинтетических пигментов в пересчете на проективную площадь, структуры тканей листьев, индекса листовой поверхности и распределения угла наклона листьев в масштабе полога. Содержание фотосинтетических пигментов снижается у листьев в состоянии длительного стресса, а также при их старении. Структура листьев меняется по мере их развития, кроме того, виды с более плотными листьями и более толстыми клеточными стенками листьев имеют меньше воздушных полостей, меньше воды и пониженное рассеяние на поверхности раздела воздух – вода, вследствие этого характеризуются более низким значением коэффициента отражения в ближнем ИК-диапазоне, чем рыхлые листья [14; 15].

Благодаря тому, что различия на уровне листьев усиливаются на уровне полога за счет его трехмерной архитектуры, приводящей к множественному рассеянию, становится возможным выделить в от-

дельный класс по VNIR каналам ASTER представленную лиственными видами сомкнутой древесную растительность (формула (2)):

$$(\text{канал } 2 / \text{NDVI} < 0,03) \text{ и } (\text{NDVI} > 0,6). \quad (2)$$

Используемое при картографировании сомкнутой древесной растительности отношение *канал 2 / NDVI* взято из работы [16], авторы которой выполнили картографирование по снимкам Landsat TM и ETM + нарушений лесного покрова для всей территории США и Канады по специально разработанному для этого алгоритму. Данное соотношение основано на том, что сомкнутая лиственная древесная растительность характеризуется сильным поглощением в красной области спектра (канал 2 ASTER) и высоким значением NDVI, что одновременно снижает получаемые по данной формуле значения. Кроме того, использование пороговой обработки отношения *канал 2 / NDVI* по сравнению с пороговой обработкой NDVI приводит к увеличению роли содержания в растительности фотосинтетических пигментов в пересчете на проективную площадь, которая напрямую связано с количеством наземной фотосинтезирующей биомассы и к снижению влияния структуры тканей листьев и распределения угла их наклона в масштабе полога, что в результате делает выделение сомкнутой древесной растительности более устойчивым, по сравнению с ее выделением по NDVI. Использование в формуле (2) также индекса NDVI обусловлено тем, что для лесной растительности известно его нижнее граничное значения, равное 0,6 [17], которое и применяется при пороговой обработке NDVI в формуле (2). Определение используемого в формуле (2) порогового значения отношения *канал 2 / NDVI* проведено путем сопоставления результатов картографирования с наземными подспутниковыми измерениями и со снимками сверхвысокого пространственного разрешения в Google Earth с использованием программы [10].

Важно отметить, что самолетные и спутниковые измерения отраженного солнечного излучения в видимом диапазоне и ближнем ИК-диапазоне являются прежде всего мерой условий поверхности в том смысле, что они содержат информацию о биофизических характеристиках наземного покрова, которые, с одной стороны, могут оказаться близкими у разных видов или функциональных типов растений, а с другой – различны у одного и того же вида на разных фенологических фазах и при разном физиологическом состоянии. Информация о видовом составе и структуре исследуемого наземного покрова определяется уже на основе измеренных биофизических характеристик, и поскольку основное влияние на них оказывают доминантные виды верхнего яруса полога, дистанционные измерения отраженного солнечного излучения в видимом диапазоне и ближнем ИК-диапазоне способствуют классификациям, основанным на фитоценозах, а не на отдельных видах. В то же время высокая изменчивость биофизических характеристик существенно ограничивает число растительных сообществ, которые можно выделить на основании измерений в данных диапазонах, поэтому при исследовании крупномасштабных процессов в экосистемах более практичной альтернативой является определение непрерывной изменчивости необходимых функциональных свойств, непосредственно связанных с дистанционно измеряемыми биофизическими характеристиками [18]. Данный подход используется в настоящей работе при выделении класса «сомкнутая лиственная древесная растительность», поскольку при этом напрямую не определяется ни принадлежность растительности к древесной, ни ее сомкнутость, а вместо этого рассчитывается комбинация каналов, значения которой зависят от количества фотосинтезирующей фитомассы и ее вертикального распределения (последнее влияет на коэффициент отражения за счет множественного рассеяния отраженного излучения).

После выделения представленной лиственными видами сомкнутой древесной растительности оставшаяся растительность выделяется путем пороговой обработки индекса NDVI, при этом согласно [19; 20] к растительности относятся пиксели со значением индекса NDVI > 0,2.

Качественно выполненное повторное заболачивание выработанного участка торфяного месторождения предполагает отсутствие после его проведения обнаженной торфяной и деградированной торфяной почвы. Однако по экономическим причинам повторное заболачивание данных участков в Беларуси, как правило, ограничивается перекрытием только магистральных и коллекторных каналов, поэтому на повторно заболоченных участках торфяных месторождений могут встречаться также обнаженные торфяные и деградированные торфяные почвы. Автоматизация их картографирования по спутниковым снимкам в видимом диапазоне и ближнем ИК-диапазоне с пространственным разрешением 10...15 м подробно рассмотрена авторами в работе [21], поэтому в данной работе указаны только основные моменты.

Согласно [22], существует 3 стадии деградации торфяных почв: торфяно-минеральные (содержание органического вещества (ОВ) 15...30 %); органоминеральные (ОВ – 15...3 % или 15...2 % в зависимости от гранулометрического состава материнской породы); постторфяные (ОВ ≤ 2 для подстилаемых песками и ОВ ≤ 3 % для подстилаемых супесями и суглинками). Их картографирование проводится путем пороговой обработки канала 2 ASTER после выделения описанных выше классов поверхностного покрова. Нижние и верхние граничные значения канала 2 ASTER для торфяной и торфяно-минеральной

почвы (один класс при картографировании) равны соответственно 0,02 и 0,06; для органоминеральной – 0,06 и 0,15; для постторфяной – 0,15 и 0,6. Верхнее граничное значение для постторфяной почвы выбрано на основе результатов работы [23] и равно верхней границе возможных значений спектрального коэффициента отражения песка в спектральном диапазоне канала 2 ASTER при воздушно-сухой влажности песка. Объединение при картографировании торфяной и торфяно-минеральной почв в один класс обусловлено тем, что их спектральная отражательная способность при 660 нм при воздушно-сухой влажности почвы различается незначительно, при этом разность их спектральной отражательной способности при 660 нм сопоставима с изменением спектральной отражательной способности каждой из них при наблюдаемых в полевых условиях изменениях влажности почвы. В то же время для дальнейших стадий деградации спектральная отражательная способность при 660 нм существенно отличается и в сравнении с торфяной почвой, и между собой [21; 24], при этом влияние влажности почвы на результаты картографирования постепенно уменьшается по мере увеличения содержания в почве песка.

На рисунке 2 показаны результаты автоматизированного картографирования повторно заболоченного после выработки участка Гричино-Старобинского торфяного месторождения по снимку ASTER, полученному 09.09.2009, а также снимок данного участка со сверхвысоким пространственным разрешением за 2014 год, взятый из Google Earth. Для лучшего представления результатов картографирования их пространственное разрешение увеличено в 8 раз со сглаживанием границ классов с использованием фильтра Ланцоша. Весь процесс обработки спутникового снимка ASTER от уровня обработки L1A (минимальный доступный уровень их обработки) до представленной на рисунке тематической карты проведен в полностью автоматизированном режиме.

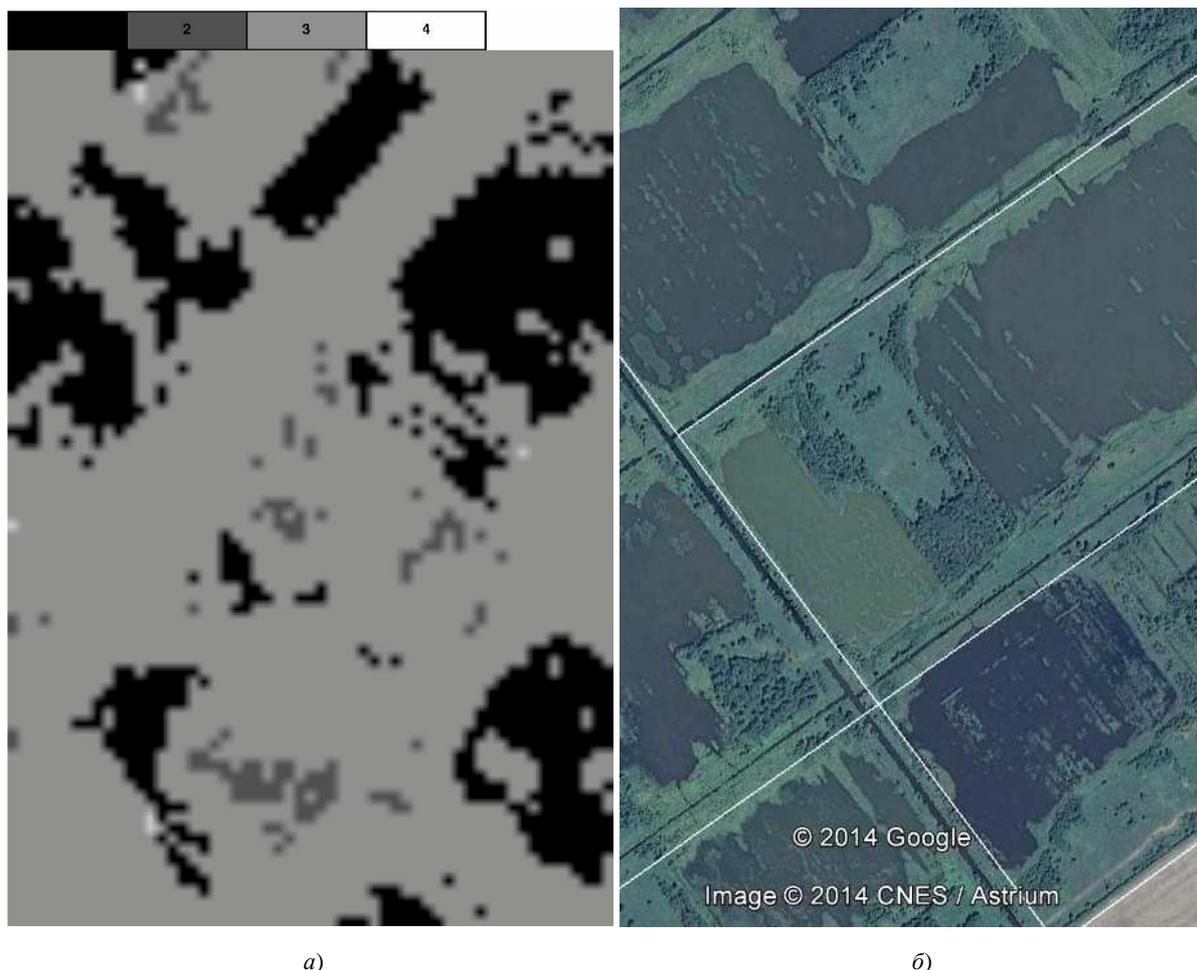


Рис. 2. Автоматизированное картографирование поверхности повторно заболоченного после выработки участка Гричино-Старобинского торфяного месторождения по снимку ASTER (а):
 1 – открытая вода, 2 – сомкнутая листовая древесная растительность,
 3 – прочая растительность, 4 – обнаженные торфяные и торфяно-минеральные почвы;
 б – данный участок на снимке из Google Earth

В отношении описанной выше методики необходимо также отметить, что временные грунтовые дороги, расположенные среди повторно заболоченных после выработки участков торфяных месторождений, в отдельный класс не выделялись и в соответствии со своими спектральными свойствами попадали в класс «постторфяные почвы».

Заключение. При картографировании повторно заболоченных после выработки участков торфяных месторождений Беларуси по спутниковым снимкам с широкими спектральными каналами в видимом диапазоне и начальной области ближнего ИК-диапазона с пространственным разрешением 10...15 м в автоматическом режиме возможно выделение открытой воды, обнаженных торфяной и торфяно-минеральной, органико-минеральной и постторфяной почв и растительного покрова с выделением из последнего в отдельный класс сомкнутой листовенной древесной растительности.

Поскольку используемый в работе метод атмосферной коррекции принимает равной единице величину прозрачности атмосферы и равной нулю величину спектральной плотности на уровне поверхности обусловленного рассеянием в атмосфере падающего потока излучения, увеличение содержания в атмосфере аэрозолей приводит к снижению точности автоматизированной обработки. Кроме того, метод DOS не учитывает поглощение излучения водяным паром и озоном, что из VNIR каналов ASTER в наибольшей степени влияет на атмосферную коррекцию канала 3N. Для повышения точности определения предложенных классов поверхностного покрова следует при проведении атмосферной коррекции вместо метода DOS перейти к использованию модели переноса излучения (применяющей оперативные данные о параметрах атмосферы и проводящей атмосферную коррекцию на уровне отдельных пикселей или групп пикселей), при этом, вероятно, потребуется скорректировать полученные в данной работе пороговые значения для канала 2 ASTER и отношения канал 2 / NDVI. Для увеличения количества картографируемых классов поверхностного покрова следует перейти к использованию данных дистанционного зондирования с лучшими пространственным и спектральным разрешениями и более широким диапазоном длин волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adam, E. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review / E. Adam, O. Mutanga, D. Rugege // *Wetlands Ecology and Management*. – 2010. – Vol. 18, № 3. – P. 281–296.
2. Яновский, А.А. Автоматизация радиометрической коррекции спутниковых снимков при картографировании деградированных торфяных почв Беларуси / А.А. Яновский // *Природопользование*. – Минск, 2014. – Вып. 26.
3. ASTER User's Guide Part I. General. (Ver. 4.0). Earth Remote Sensing Data Analysis Center. – July, 2005.
4. USGS digital spectral library splib06a / R.N. Clark [et al.] // U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231. – 2007.
5. Исследование оптических и физико-химических свойств почв Беларуси / А. Ю. Жумарь [и др.] / Респ. науч.-техн. центр дистанционной диагностики природной среды Акад. наук Беларуси и Гос. ком. Беларуси по экологии, Ин-т физики Акад. наук Беларуси, БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 1992. – Ч. 1: Каталог спектральных и физико-химических свойств почв Беларуси (Препринт № 8). – 107 с.
6. Fox, J. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R / J. Fox // *Journal of Statistical Software*. – 2005. – Vol. 14, № 9. – P. 1–42.
7. R: A language and environment for statistical computing [Electronic resource] / R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria, 2014. – Mode of access: <http://www.R-project.org/>.
8. Frazier, P.S. Water Body Detection and Delineation with Landsat TM Data / P.S. Frazier, K.J. Page // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2000. – Vol. 66, № 12. – P. 1461–1467.
9. McFeeters, S. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features / S. McFeeters // *Int. J. Remote Sens.* – 1996. – № 17. – P. 1425–1432.
10. VISAT Version 5.0 [Electronic resource] / Brockmann Consult and contributes. – 2014. – Mode of access: <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>.
11. An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery / H. Jiang [et al.] // *Remote Sens.* – 2014. – Vol. 6. – P. 5067–5089.
12. Vermote, E. LEDAPS surface reflectance product description. Version 2.0 / E. Vermote, N. Saleous. – January, 2007. – 21 p.
13. Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / C.J. Tucker // *Remote Sens. Environ.* – 1979. – № 8(2). – P. 127–150.
14. Abrams, M.D. Leaf structural characteristics of 31 hardwood and conifer tree species in central Wisconsin – influence of light regime and shade-tolerance rank / M.D. Abrams, M.E. Kubiske // *Forest Ecology and Management*. – 1990. – № 31. – P. 245–253.

15. Ustin, S.L. Remote sensing of plant functional types / S.L. Ustin, J. A. Gamon // *New Phytologist*. – 2010. – № 186. – P. 795–816.
16. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record / J.G. Masek [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2008. – Т. 112, № 6. – С. 2914–2926.
17. Zhu, Z. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery / Z. Zhu, C.E. Woodcock, P. Olofsson // *Remote Sensing of Environment*. – 2012. – № 122. – P. 75–91.
18. Functional convergence in regulation of net CO₂ flux in heterogeneous tundra landscapes in Alaska and Sweden / G. R. Shaver [et al.] // *Journal of Ecology*. – 2007. – № 95. – P. 802–817.
19. Carlson, T.N. On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index / T.N. Carlson, D. A. Rizley // *Remote Sens. Environ.* – 1997. – № 62. – P. 241–252.
20. Indices of Vegetation Activity / A. Huete [et al.] // *Biophysical Applications of Satellite Remote Sensing*; eds. J.M. Hanes. – Springer, 2013. – P. 1–41.
21. Яновский, А.А. Автоматизация картографирования деградированных торфяных почв Беларуси по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения / А.А. Яновский, Н.Н. Бамбалов // *Природопользование*. – Минск, 2014. – Вып. 26.
22. Бамбалов, Н.Н. Агрогенная эволюция осушенных торфяных почв / Н.Н. Бамбалов // *Почвоведение*. – 2005. – № 1. – С. 29–37.
23. Sadiq, A. Remote sensing and spectral characteristics of desert sand from Qatar Peninsula, Arabian/Persian Gulf / A. Sadiq, F. Howari // *Remote Sensing*. – 2009. – Т. 1, № 4. – С. 915–933.
24. Разработать прогноз изменения структуры почвенного покрова (СПП) и плодородия мелиорированных почв: отчет о НИР (заключ.) / ИППИРЭ Акад. наук Беларуси; науч. рук. д-р с.-х. наук Н.Н. Бамбалов. – Минск, 1995. – 148 с.

Поступила 03.06.2014

**THE AUTOMATION OF MAPPING OF REWETTED AFTER CUT-OFF SITES
OF PEATLANDS OF BELARUS ON THE BASIS OF SATELLITE IMAGES
OF MEDIUM SPATIAL RESOLUTION**

A. YANOVSKIY, N. BAMBALOV

Large areas of cut-off peatlands of Belarus require rewetting, the mosaic arrangement of the elements of their surface cover after rewetting impedes their mapping by interactive processing of remote sensing data, leading to the necessity to automate mapping. In the paper we show the automation of the thematic mapping of the surface of rewetted after cut-off sites of peatlands of Belarus on the basis of broadband satellite images in the visible and near infrared (the beginning of NIR region) spectral bands with a spatial resolution of 10...15 m without direct human intervention, with the applicability of the methodology to peatlands of Belarus without using ground data. When mapping the surface of rewetted after cut-off sites of peatlands of Belarus on the basis of the above mentioned remote sensing data in automatic mode it is possible to single out open water, bare peat and peat-mineral (one class when mapping), organo-mineral and postpeat soils and vegetation cover, with the possibility of separating closed deciduous woody vegetation into a distinct class.